

# 差鴨居構法のほぞ差し込栓止め接合部の強度特性に関する研究

荘所 直哉\* 生田 浩子\*\* 早崎 洋一\*\*\* 大橋 好光\*\*\*\*

## Study on the Strength Characteristics of the Pegged, Mortise and Tenon Joint in the Sashigamoi Construction Method

Naoya SHOJO, Hiroko IKUTA, Youichi HAYASAKI, Yoshimitsu OHASHI

### ABSTRACT

This paper presents the tension test of the pegged, mortise and tenon joint (column-sashigamoi joint) in the sashigamoi construction method. And, the tension test results are compared with the European Yield Theory (EYT). As a result, when the specimens consist of large and high Young's modulus column members, the maximum and yield strength rise. There are three failure types: Splitting failure of the column, shear failure of the peg, and shear failure of the tenon. When this joint is designed, the calculation of the yield strength is possible with EYT.

**KEY WORDS:** sashigamoi construction method, pegged, mortise and tenon joint, tension test

## 1. はじめに

1995年に発生した兵庫県南部地震をはじめとし、鳥取県西部地震、宮城県北部地震、十勝沖地震そして新潟県中越地震とマグニチュード7.0クラスの大震災が頻りに発生している。特に兵庫県南部地震と新潟県中越地震では木質構造物は甚大な被害を受けた。これらの背景から、木質構造に対する更なる構造安全性向上のためにさまざまな実験が行われ、理論的な考察がなされている。しかし、これらの多くは現代的な木質構造を対象としたものが多い。伝統的な木質構造の構造安定性にかかわる研究は散見されるものの、実験データの蓄積や解析方法の検討が十分になされているとは言い難い。

例えば、伝統的な木質構造物の水平耐力については、藤原らの研究<sup>1)</sup>により、耐力壁だけでなく、軸組部分の接合部性能に大きく依存していることが明らかになっている。接合部は伝統的な木質構造建築物の水平耐力抵抗要素でありながら、その構造特性に関するデータの蓄積や定量的な評価が十分にされ

ていない。ほぞ差し込栓接合部において、渋谷らは、接合部の引張実験により引張性能を明らかにし、抵抗要素をモデル化して長期許容引張耐力を算出できる評価式を提案している<sup>2)</sup>。また、平坂らは、純引張力を受ける場合の破壊性状を3つの形態に仮定し、接合部の強度特性、破壊性状ならびに込栓の有効な打ち込み位置等について検討している<sup>3)</sup>。これらの研究はすべて柱と土台部分の接合部を対象とされている。

そこで本研究では、差鴨居構法の柱と差鴨居部分の接合部を対象としたほぞ差し込栓止め接合部の引張実験を行い、その性能を把握することを目的とした。ここで、差鴨居構法とは日本古来の木造軸組構法の一種で、寺社仏閣や民家等の伝統的な木質構造建築に多く用いられている構法である。

## 2. 実験概要

### 2.1 試験体

試験体は柱や差鴨居寸法、柱材種の違いを考慮して組み合わせた全4種類で各3体の試験体を用意した。柱にはヒノキ集成材、スギ集成材を差鴨居にはベイツ集成材を込栓にはカシを使用した。T型接

\* 建築学科 \*\* 千葉大学工学部デザイン工学科  
\*\*\* (財) 建材試験センター \*\*\*\* 武蔵工業大学

合部の引張実験の試験体一覧を表 1 に示す。各部分材の種類とヤング係数区分を表 2 に示す。

試験体名の最初の数字は込栓の本数を意味し、次のアルファベットは H が柱材種のヒノキで S が柱材種のスギを意味している。また、4桁の数字の前2桁は柱小径(単位:cm)を後2桁は差鴨居せい(単位:cm)を表している。

表 1 試験体一覧(単位: mm)

試験体名称	柱材種	柱小径	差鴨居せい	込栓寸法	試験体数
2H1230	ヒノキ	120	300	18 口	3
2H1530		150	300	21 口	3
2H1836		180	360	24 口	3
2S1530	スギ	150	300	21 口	3

表 2 各部分材の種類とヤング係数区分

部材	材種	ヤング係数区分
柱	ヒノキ集成材	E85-F300
	スギ集成材	E65-F255
差鴨居	ベイマツ集成材	E120-F300
込栓	カシ	-----

試験体の詳細図の一例(2H1230)を図 1 に示す。

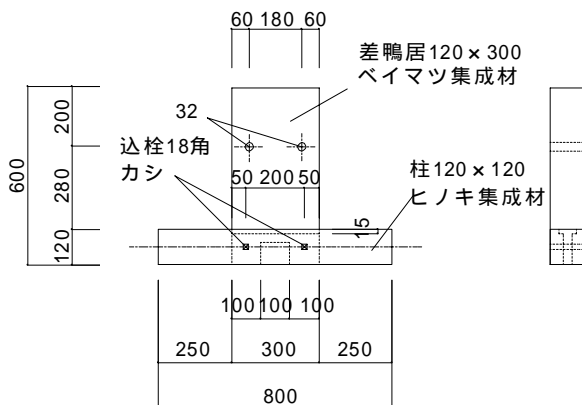


図 1 試験体の詳細図(2H1230)

### 2.2 実験方法

試験体の柱を試験機に固定し、治具と差鴨居を 32 のボルトで繋ぎ、単調引張载荷した。計測は主に差鴨居と柱の相対変位を測定し、変位計のみ試験機の変位を測定した。変位計はすべてで 5 箇所に取り付けた。試験体と試験機の取り付けおよび変位計位置を図 2 に示す。

载荷速度は、込栓下位置と差鴨居の相対変位が 20mm までは 2mm/min. で、20mm を越えた時点から

5mm/min. とした。载荷は込栓下位置と差鴨居の相対変位が 40mm を超えるまで行った。



図 2 試験機との取り付けおよび変位計位置

### 3. 実験結果

#### 3.1 荷重 - 変位関係

接合部に加えられた引張荷重と込栓下位置と差鴨居の相対変位の関係を示す。荷重はロードセルより出力された結果を用いた。込栓下位置と差鴨居の相対変位は変位計との変位の平均値とした。荷重 - 変位関係を図 3 ~ 図 6 に示す。

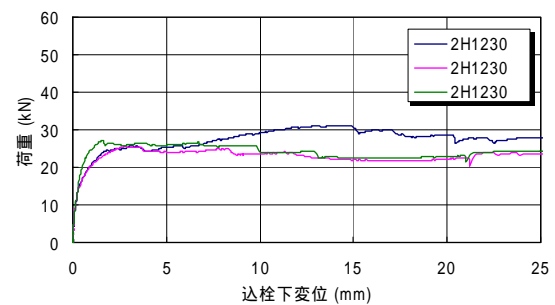


図 3 2H1230 試験体の荷重 - 変位関係

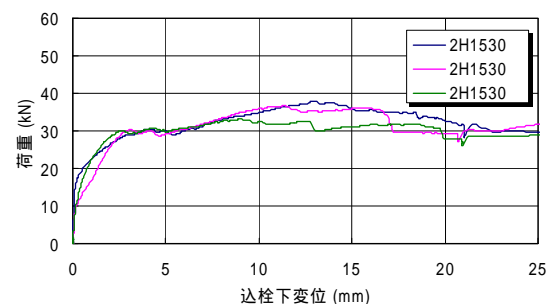


図 4 2H1530 試験体の荷重 - 変位関係

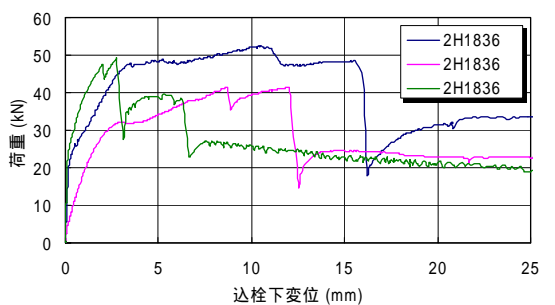


図 5 2H1836 試験体の荷重 - 変位関係

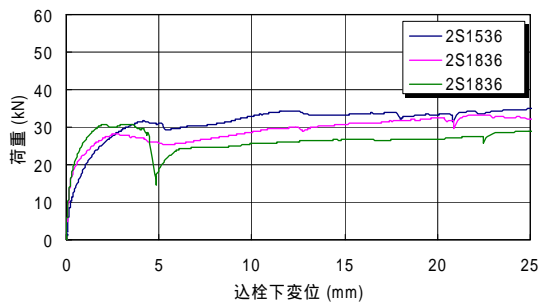


図 6 2S1836 試験体の荷重 - 変位関係

また、荷重 - 変位関係の試験体種類毎に 3 体を平均した値で比較した結果を図 7 に示す。

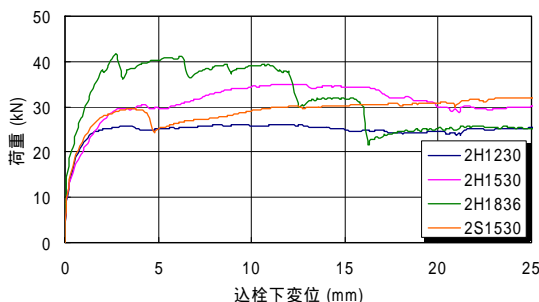


図 7 各試験体の荷重 - 変位関係の比較

### 3・2 評価結果および破壊性状

前節で示した荷重 - 変位関係を完全弾塑性モデルによる評価を行った<sup>4)</sup>。各試験体の評価結果の一覧を表 3 に示す。

表 3 評価結果の一覧

試験体名	$P_{max}$	$P_{max}$	$P_y$	$y$	$K$	$D_s$
2H1230	31.1	42.6	21.9	1.18	18.5	0.164
2H1230	25.6	44.8	14.4	0.34	42.6	0.094
2H1230	27.2	44.9	16.2	0.33	48.7	0.110
平均値	27.9	44.1	17.5	0.62	36.6	0.123
2H1530	37.9	43.7	23.3	1.18	19.8	0.205
2H1530	36.6	44.7	26.1	2.06	12.7	0.260
2H1530	33.1	44.9	18.4	0.63	29.3	0.115
平均値	35.9	44.4	22.6	1.29	20.6	0.193
2H1836	52.4	42.9	23.6	0.33	71.6	0.144
2H1836	41.4	42.3	27.3	1.85	14.8	0.340
2H1836	49.4	41.5	25.2	0.20	126.0	0.246
平均値	47.7	42.2	25.3	0.79	70.7	0.243
2S1530	35.0	44.5	19.6	0.99	19.6	0.141
2S1530	33.2	42.6	25.0	1.42	17.6	0.157
2S1530	30.8	43.2	17.0	0.29	58.3	0.241
平均値	33.0	43.4	20.5	0.90	31.8	0.180

$P_{max}$  : 最大耐力 (kN)  $\delta_{P_{max}}$  :  $P_{max}$  時変位 (mm)  
 $P_y$  : 降伏耐力 (kN)  $\delta_y$  : 降伏変位 (mm)  
 $K$  : 剛性 (kN/mm)  $D_s$  : 構造特性係数  
 次に最大耐力および降伏耐力の評価結果の比較

を柱小径, 柱材種の違いで示す。比較した結果を図 8 ~ 図 10 に示す。試験体毎に 3 点あるのは 3 体の評価結果を意味している。また, 試験体種を結ぶ折れ線は各試験体の評価結果の平均値を結ぶ直線である。

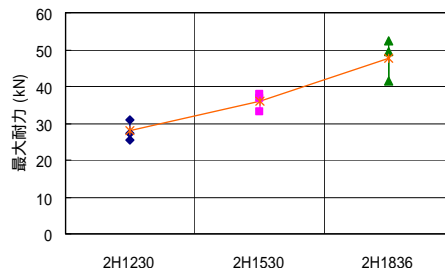


図 8 柱小径の違いによる最大耐力の比較

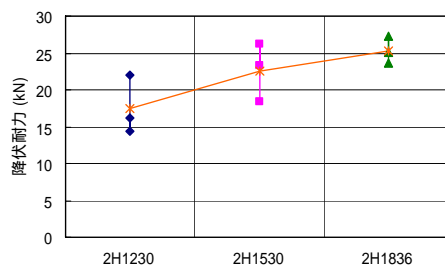


図 9 柱小径の違いによる降伏耐力の比較

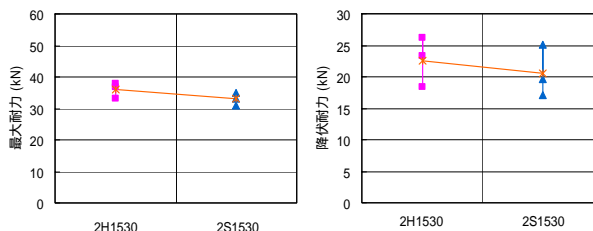


図 10 柱材種の違いによる最大耐力の比較

試験体毎によってばらつき大きいものもあるが, 極端に耐力が小さい試験体がないため, 一律に扱うこととした。

柱小径による比較では, 柱小径が大きくなると最大耐力および降伏耐力とも高くなった。また, 柱材種で比較すると, ヒノキ試験体がスギ試験体より最大耐力および降伏耐力とも高くなった。ヒノキ試験体の方が高いヤング係数の部材を使用しているためと考えられる。

次に, 破壊性状について示す。試験体の破壊性状を図 11 に示す。大きく 3 種類の破壊性状が確認できた。柱の割裂破壊, 込柱のせん断破壊, ほぞのせん断破壊である。柱と差鴨居の相対変位が 40mm 程度まで載荷したが, 極端な荷重の低下は見られず靱性的な履歴を示した。しかし, 柱の割裂破壊が発生すると鉛直荷重を支えられなくなる可能性がある

ため、この破壊性状は避けるべきであろう。込栓が曲げ破壊を起こした後、込栓が楔効果を発揮したことによって、荷重低下後に再度荷重が上昇する履歴を示したものもあった。

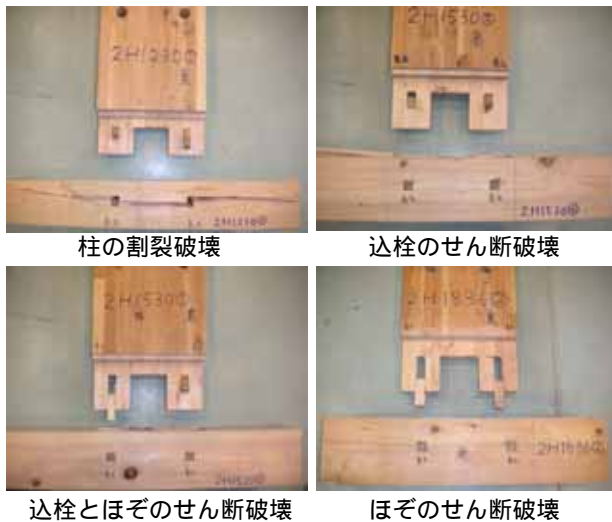


図 11 試験体の破壊状況

#### 4. 降伏耐力理論式(EYT 式)による検討

降伏耐力の理論式と実験結果の比較を示す。ほぞ差し込栓の降伏耐力理論式を(1)式に示す<sup>5)</sup>。

$$P_y = C \cdot F_e \cdot d \cdot l \quad (1)$$

ここに、

$P_y$  : ほぞ差し込栓の引張降伏耐力 (N)

$F_e$  : ほぞまたは栓の支圧強度 (N/mm<sup>2</sup>)

ほぞの繊維方向の圧縮材料強度  $F_c$  または栓のめり込み材料強度  $F_e$  の小さいほうの値

$d$  : 正方形断面の栓の一辺の長さ、または円形断面の栓の直径 (mm)

$l$  : ほぞの厚さ (mm)

$C$  : 下の 4 式の値の最小値

$$\min \left( 2\alpha\beta, 1, \sqrt{\frac{8\alpha^2\beta^2(1+\beta)}{(2\beta+1)^2} + \frac{K\beta\gamma(d/l)^2}{2\beta+1}} - \frac{2\alpha\beta}{2\beta+1}, \frac{d}{l} \sqrt{\frac{K\beta\gamma}{1+\beta}} \right)$$

ただし、

$\alpha$  : ほぞ厚さ  $l$  に対するほぞ穴残り断面の片側幅  $l'$  の比 ( $l'/l$ )

$\beta$  : 支圧強度の比 ( $F'_e/F_e$ )

$F'_e$  は、ほぞ穴の材のめり込みの材料強度と、栓のめり込み材料強度の小さいほうの値

$\gamma$  : 栓の曲げ強度  $F_b$  の支圧強度  $F_e$  に対する比 ( $F_b/F_e$ )

$K$  : 正方形断面の栓の場合  $K = 4$

降伏耐力理論式より得られる結果(以下、理論値)と実験結果の比較を行う。降伏耐力の実験結果と理論値の比較を表 4 に示す。

表 4 降伏耐力の実験結果と理論値の比較

試験体名	実験結果(kN)	理論値(kN)	実験/算定
2H1230	17.5	13.0	1.35
2H1530	22.6	15.1	1.50
2H1836	25.3	20.2	1.25
2S1530	20.5	15.1	1.36

表 4 より、実験結果が理論値に対し約 1.3~1.5 倍高い、安全側の結果を示した。よって、設計の際に降伏耐力の算定に降伏耐力理論式を用いることができることが示された。

#### 5. まとめ

差鴨居構法のほぞ差し込栓止め接合部の引張実験を行った結果、以下の工学的知見が得られた。

- ・ 柱小径が大きくなると最大耐力および降伏耐力とも高くなる。
- ・ 柱部材に高いヤング係数の部材を使用すると、最大耐力および降伏耐力とも高くなる。
- ・ 柱の割裂破壊、込栓のせん断破壊、ほぞのせん断破壊の 3 種類の破壊性状が確認できた。しかし、すべての破壊性状でも極端な荷重の低下は見られず靱性的な接合部である。
- ・ ほぞ差し込栓止め接合部を設計する際に降伏耐力の算定に降伏耐力理論式を適用できる。

#### 謝辞

本研究の実施に際し、平成 17 年度の明石高専教育研究支援経費・共同研究プロジェクトの補助を受けた。また、実験を行うにあたり熊本県立大学の李麗助教授、三芳紀美子助手に多大なご協力を頂いた。ここに記し深く謝意を表します。

#### 参考文献

- 1) 藤原稲子, 藤田香織他: 民家の構造耐力性能に関する実験的研究, 日本建築学会大会学術梗概集 (北陸), pp235~238, (2002)
- 2) 渋谷泉, 松留慎一郎, 前川秀幸, 藤田香織: 木造接合部におけるほぞ差込栓の耐力評価法に関する実験的研究, 日本建築学会構造系論文集, 第 601 号, pp.99~104, (2006)
- 3) 平坂継臣, 井上正文: 木造込栓仕口部の引抜き強度に関する実験的研究, 日本建築学会構造系論文集, 第 603 号, pp.93~98, (2006)
- 4) 日本住宅・木材技術センター: 木造軸組工法住宅の許容応力度設計, (2001)
- 5) 株式会社エクスマレッジ: 地震に強い〔木造住宅〕パーフェクトマニュアル, (2003)